

# 工事用仮設資材リース業における資材保有量の検討

清水 博康 (沼田 一道 助教授, 山本 仁志 助手)

## 1. はじめに

大規模の建設工事施工に際しては、作業のための足場や覆い等が必要となる。多くの建設会社はそれに必要な資材を自社で所有せず、リースによって手当てしている。その結果、工事用仮設資材（以下「仮設」資材」と略す）を貸し出すリース業が成立し、そこでは、各資材をどの程度保有すればよいかという問題が生ずる。以下ではこのリース業における最適保有量の問題を考える。いわゆる在庫理論は消費財の最適発注量・発注時点を対象としたものであり、リース業における保有量の決定には使えない。現実には、過去の経験や経営者の勘をもとに、保有量を決定しているが、それが利益を最大にする、最適に近い保有量かどうかについては、あまり検討されていないのが実情である。

本研究では、仮設資材の出入庫の過程を簡単な確率モデルで表し、シミュレーションを行って、資材ごとの貸出し量から最適保有量を決定する方法を提案する。また、このとき得られる情報を用いて、複数の資材に対して、どのような割合で保有すべきかについても考察する。

## 2. 仮設資材リース業

従来、建設業者は自社の資材センターを持ち、仮設資材を保有して、メンテナンスを行うのが普通であったが、コスト削減のため資材センターを閉鎖する動きが強まっている。資材リース業としては注文が増えるわけであるが、需要の予測が難しく、貸出し資材の準備量の見積もりに苦労しているのが現状である。

仮設資材は、パイプを結ぶ小さなジョイントから大きな鉄板まで数多くの種類がある。主要な仮設資材である鉄パイプだけでも1m、2m・・・とその種類は多い。その使用用途はさまざま、建設場所の基礎を固める、足場を組む、ペンキが飛び散らないようにする等の目的で使用される。

仮設資材は建設現場単位で契約が発生し、建物建設時のある一定期間随時仮設資材が搬入され、リースされる。そして、仮設資材が不要になった場所から随時返却されていく。

## 3. 確率モデル

実際の業務は 1. 契約, 2. リース部材の選定, 3. 日数, 数量の決定, 3. 出荷, 4. リース, 5. 返却, 6. 整備, 保管 のように行われている。ただし、出荷に必要な数の部材がない場合は同業他社から借り、それを貸し出すという再リースを行う。

注文は資材ごとに、1日に平均 $\lambda$ 件のポアソン到着をすると仮定する。注文数量 $s$ と貸し出し期間 $\mu$ は区間、それぞれ、区間 $[a, b]$ 、区間 $[c, d]$ に一樣分布する確率変数とする。また前提条件として、資材は滅失

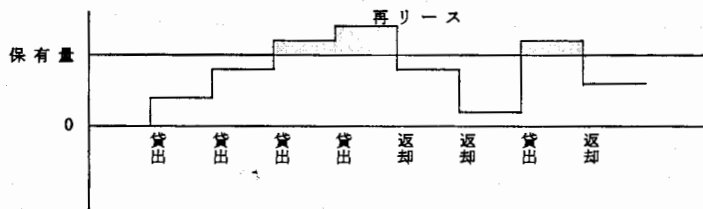


図1. 確率モデル概略

無し、搬入搬出は一括で行なわれ、再リースの数量に限度はないものとする。第 $i$ 資材の到着率 $\lambda_i$ は、

資材全体の年間の全契約数を  $E$ 、1 契約に資材  $i$  が含まれる割合を  $P_i$  として、 $\lambda_i = E \times P_i / 365$  で見積もった。注文数量、貸し出し期間の  $a, b, c, d$  は出庫伝票[3]から大まかに見積もって設定した。

このように仮定すると、資材  $i$  の 1 日の貸出し量  $x_i$  の期待値は  $E[x_i] = \lambda_i \left( \frac{a_i + b_i}{2} \right) \left( \frac{c_i + d_i}{2} \right)$  で与えられる。しかし、最適保有量を決定するためには各部材の貸出し量の確率分布を求める必要がある。そこで、以下のようにして、貸出量の推移をシミュレートし、そこから貸出量の確率分布を求めることにした。

#### 4. シミュレーション

1 日ごとに貸出（数量、期間）、返却が起るか否かを乱数（と  $\lambda, a, b, c, d$ ）で決定し、貸出量を追跡する。

- step1. パラメータ  $\lambda, a, b, c, d$  を入力する。  $x := 0$ ; (貸し出し量初期化)
- step2. 以下を  $n$  回分繰り返す（本研究では 3650 回）。
- step3. 乱数による貸出事象の生起、予約された返却事象の有無を調べる。
- step4. 「貸出」が発生したら、 $x := x + s$  とし、 $\mu$  日後に「返却」の発生を予約。
- step5. 「返却」が発生したら、 $x := x - (\text{予約 } s)$ 。
- step6. この回（日）の貸出量を記録して step3 へ。
- Step7. 終了

$\lambda$  が 1 より充分小さいとき、1 回は 1 日に対応する（ $\lambda \geq 1$  の時は一回のシミュレーションを半日に対応させた）。図 2 は、布板（BKN-3： $\lambda=1/7, a=50, b=500, c=20, d=110$ ）に対するシミュレーションから得られた 100 個単位の区間の貸出量の推移グラフである。図 3 はそれを基に作成した貸出量の確率分布である。貸出量の確率分布は、資材により適当な単位量を設定し、その単位量ごとの区間で確率分布を考える。

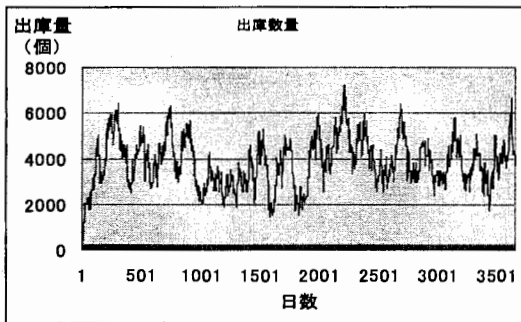


図 2. 貸出量の推移

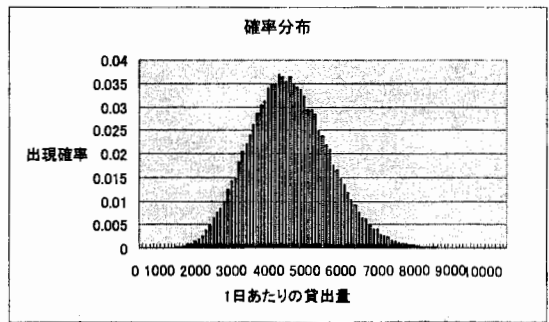


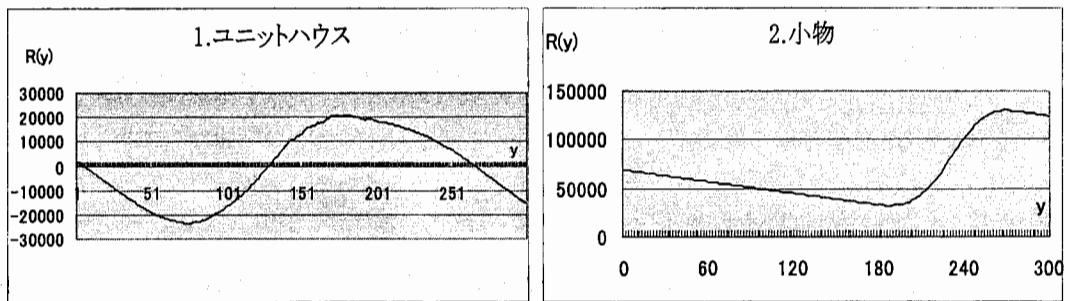
図 3. 貸出量の確率分布

#### 5. 経済的保有量の導出

以下では、資材の保有量（貸出量）を資材ごとに仮定した単位数量で扱うことにする。リース会社が貸し出し用仮設部材の保有量を考える際、基準になるのは部材が生み出す利益と経費の関係である。経費を抑え、利益を最大にする保有量をシミュレーションで求めた確率分布から算出する。ここで、自社資

材のリースによる利益を  $V_1$  円 ( / 単位 / 日) [リース料単価[4]], 再リースによる利益を  $V_2$  円 ( / 単位 / 日) [リース料単価-再リース単価], 保有コストを  $C$  円 ( / 単位 / 日) [人件費+購入費/償却日数] とする. 対象とする資材の保有量を  $U$  とし, 保有量, 貸出量は  $U$  の何倍かで表す. 保有量 (単位)  $y=j(j=0,1,2,\dots)$  の実際の保有個数は  $U * j$  である. また, 貸出量 (個数) が区間  $[U*j, U*(j+1)]$  にある確率を  $f_j$  とし, その単位数を  $(j+0.5)$  で近似する ( $j=0,1,2,\dots$ ). 以上より, 保有量を  $y$  単位としたときの 1 日あたりの期待利益は  $R(y) = \sum_{j=0}^{y-1} f_j (j+0.5) \cdot V_1 + \sum_{j=y}^{\infty} f_j (j+0.5) \cdot V_2 - Cy$  で与えられる.

保有量  $y$  を変化させたときの期待利益  $R(y)$  のグラフは次のようになる.



$$\lambda=0.0548 [a, b]=[1, 20], [c, d]=[30, 400]$$

$$V_1=1000, V_2=30, C=450$$

$$\lambda=0.8219 [a, b]=[200, 3060], [c, d]=[20, 1620]$$

$$V_1=10.8, V_2=20.3, C=0.2$$

図 4. 保有量における期待利益

上のグラフから期待利益が最大になる最適保有量を求めることができる.

## 6. 資材グループ

以下では, 資材の管理・整備に必要な労働力を考慮したときの最適保有量を考える. このとき個別の資材を直接対象にするのは種類数が多すぎ, また管理の実態にも合わない. そこで各資材をいくつかのグループに分け, そこから 6 種類のグループ ( $k=1, 2, \dots, 6$ ) を選び出し, それぞれを仮想的な資材として扱う. 資材グループ ( $k$ ) として (1) 小物, (2) パイプ類, (3) 布板類, (4) 筋違い類, (5) 足場板類, (6) ユニットハウス類を選んだ.

1 人の 1 日の労働力を 1 人工ととし, グループ  $k$  の資材 1 単位を 1 日維持するのに必要な人工を  $W_k$  とする.  $\sum_{k=1}^6 W_k$  は全資材に必要な人工の 54% を占めている.

## 7. 複数資材の取り合わせ

作業に振り向ける労働力に制約がなければ, 5 節の方法で各資材グループごとに最適保有量を求め, その量を保有すれば良い. しかし, 使用可能な人工に制限がある場合には, その保有量を最適保有量から減じなくてはならない. 各資材グループの保有量の減数は期待利益の低下を最も小さくするような割合で選ぶ必要がある. 今回選んだ 6 種類の資材グループそれぞれを最適保有量だけ持ったときの必要人工の合計を  $A$ , 6 グループに対する許容人工の設定値を  $B (< A)$  とすると,  $A - B$  が減らさなければならな

い人工の値である。それぞれの資材グループの保有量を減じて、必要人工を  $B$  以下としなくてはならないが、利益の減少が最小となるように各グループの減量数を決定しなければならない。

第  $k$  資材グループの最適保有量を  $y_k^*$  (単位), そこからの減量数を  $Z_k$ (単位)とする。人工制約  $B$  の下で、期待利益を最大にする問題は右のように書ける。  
 $R_k$  は図5のような非線形関数なので、これは整数非線形計画問題である。

$$\begin{cases} \max & \sum_{k=1}^6 R_k(y_k^* - Z_k) \\ \text{sub.to} & A - \sum_{k=1}^6 W_k Z_k \leq B \\ & Z_k = 0, 1, 2, \dots (k = 1, 2, \dots, 6) \end{cases}$$

### 8. 計算方法と結果

各品種グループごとに、利益減率 = 「人工1に相当する保有量を減じたときの利益の減少額 (保有量によって変化する)」を計算する。1番小さい品種グループの保有量を1単位減じ、当該グループの利益減率を更新する。これを最適保有量  $y_k^*$  から始めて必要人工の合計が  $B$  以下となるまで繰り返す。

最適保有量 ( $y_k^*$ ) における利益減率は、小さいほうから順に、小物、筋違い、布板、パイプ、足場板、ユニットハウスの順である。保有量が変化したときの6資材グループ各々の利益減率の推移を図5に示す。

6節で選んだ6品種グループをそれぞれ最適保有量ずつ保有したときの必要総人工は  $A=4.2535$  である。許容人工が  $B=4.0000$  であるとして、上記手順を適用したときの減少品種グループと数量 (単位) は小物=1, 布板=8, 筋違い=2, 足場板=15, ユニットハウス=6 となった。そのときの期待利益の減少は 15982.74 であり、例えば足場板だけで人工の調整をした場合の期待利益の減少 23231.69 の 68.8% に抑えることができている。計算にはエクセルVBAを用いた。

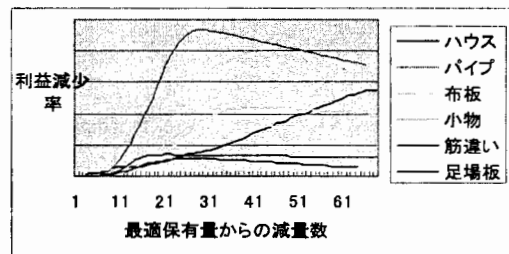


図5. 各品種における利益に対する人工の効果

### 9. まとめ

本研究ではS社の営業資料をもとに、建設用仮設資材リース業における最適資材保有量を見積もる方法を提案した。さらに保有に必要な労働力を考慮し、労働力を制約条件として最適保有量を算出する方法も提案した。提案した方法は、現状の契約件数における資材の保有量は適正か、また、労働力を制約条件とした場合、どの資材をどれだけの割合で変化させるかを判断する際、十分役に立ち、保有量に関する問題を改善することに寄与すると思われる。

確率モデルを見直し、諸データをより実態に近づけることことや、データ入力から自動的に最適保有量を導出するソフトウェアの開発等は今後の課題である。

### 参考資料

- [1] 大鹿譲, 一森哲男:「オペレーションズ・リサーチ」, 共立出版, 1993.
- [2] 大村あつし:「Excel197VBA プログラミングのコツ」, エーアイ出版, 1998.
- [3] S社資料「出庫伝票, 入庫伝票, 棚卸表 (2002), 作業日報」.